

# FRP積層板の物性 (2)

## 曲げ試験における板厚の影響について

|       |               |
|-------|---------------|
| 誌名    | 北海道大学水産学部研究彙報 |
| ISSN  | 00183458      |
| 著者名   | 浅野, 一彦        |
| 発行元   | 北海道大学水産学部     |
| 巻/号   | 32巻2号         |
| 巻号補足  |               |
| 掲載ページ | p. 176-181    |
| 発行年月  | 1981年6月       |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## FRP 積層板の物性

### II. 曲げ試験における板厚の影響について

浅野 一彦\*

## The Properties of an FRP Board

### II. The effect of thickness on the bending test

Kazuhiko ASANO\*

#### Abstract

The relation between the forming methods of the FRP board and the elastic modulus by the bending test was investigated.

In this bending test, as the measurements were rather different, the significant relation was not observed. But the relation was observed between the thickness of the FRP board and the elastic modulus by the bending test.

On the same glass formation, the thicker the FRP board was, the lower elastic modulus the FRP board was but the level of stiffness of the FRP board increased.

When the thicknesses of FRP boards are rather different, it is necessary to reconsider the method by which the percentage of glass content of the FRP board is valued.

#### 結 言

著者は積層方法を変えて数種の FRP 積層板を作製して各々の曲げ弾性率の比較を行なった。その結果は曲げ弾性率のバラツキが大きく積層方法の影響については明らかにできなかった。

しかし、この曲げ試験において試験材の厚さの違いが曲げ弾性率算定に大きく影響している様な結果が示された。さらに、試験材自体の板厚のバラツキもかなり大きく、これが曲げ試験の測定値のバラツキに影響している様に考えられる。

FRP 積層板の物性測定値のバラツキは大きく、積層方法、環境、品質管理などの研究の重大な障害となっている<sup>1)</sup>。なかでも曲げ試験の測定値は他の試験に比べバラツキが大きい<sup>2)-4)</sup>。

この論文では、今回の曲げ試験より試験材の板厚と弾性率等の関係を考察している。

#### 試 験 材

ガラス基材構成の異なる 3 種類について、各々 3~4 種の異なる方法で積層された FRP 積層板を各寸法に切斷して試験材を作製した。FRP の積層は(有)服部造船所で行なわれた。

#### 基 材

ガラス繊維 日本硝子繊維(株) チョップストランドマット (M) EM600G-1 600g/m<sup>2</sup>

\* 北海道大学水産学部 漁船工学講座  
(Laboratory of Engineering of Fishing Boat, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

浅野： FRP 積層板の曲げ試験における板厚の影響

樹脂 昭和高分子 (株) ロングクロス (R) EWR-80 810g/m<sup>2</sup>  
157 BQTN, 6 ポイズ

ガラス基材構成および寸法

試験材番号 I (MR) × 8, 16 ply, 600 mm × 300 mm  
II (MR) × 4, 8 ply, 600 mm × 100 mm  
III (MRMRM), 5 ply, 600 mm × 100 mm

積層方法

試験材番号 I -1-(1~12) (MR) を連続積層, (MR) × 8  
I -2-(1~12) (MR) × 4 を連続積層後, 24 時間放置してさらに (MR) × 4 を連続積層,  
(MR) × 4 + (MR) × 4  
I -3-(1~12) (MR) を連続積層, ただし中央部の M-R 間の脱泡作業を省略している,  
(MR) × 8  
試験材番号 II -1-(1~5) (MR) を連続積層, (MR) × 4  
II -2-(1~5) (MR) × 2 を連続積層後, 24 時間放置してさらに (MR) × 2 を連続積層,  
(MR) × 2 + (MR) × 2  
II -3-(1~5) (MR) の積層を各々 24 時間放置して積層,  
(MR) + (MR) + (MR) + (MR)  
試験材番号 III -1-(1~10) MRMRM の連続積層  
III -2-(1~10) 1-2 層間と 4-5 層間を 24 時間放置して積層, M+RMR+M  
III -3-(1~10) 2-3 層間と 3-4 層間を 24 時間放置して積層, MR+M+RM  
III -4-(1~10) 各層間ごとに 24 時間放置して積層, M+R+M+R+M

試 験 方 法

試験は図 1 に示す曲げ試験装置で行なった。試験荷重を手動ジャッキで加え, たわみをダイヤルゲージで読み取った。基本荷重は試験材 I で 308 kg (一部 408 kg), 試験材 II で 18 kg, 試験材 III で 8 kg であり, 試験荷重は試験材 I は 450 kg (一部 800 kg, 600 kg), 試験材 II は 50 kg, 試験材 III は 15 kg である。

なお, 荷重は M 面で圧縮, R 面で引張りとなる様に試験材をセットしている。

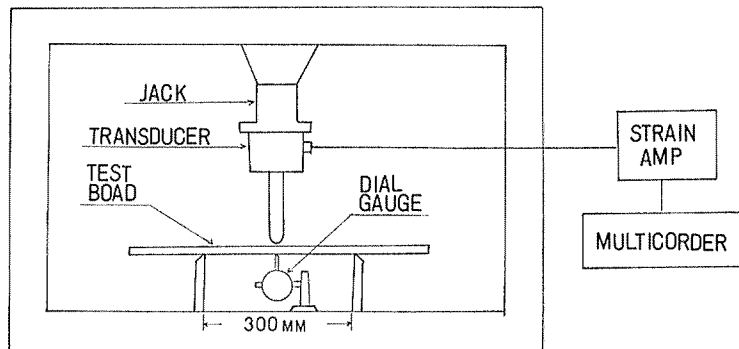


Fig. 1. Outline of the bending test system.

曲げ試験装置には下記の計器が使用されている。

|         |                   |            |
|---------|-------------------|------------|
| 荷重計     | LC/3A             | 新興通信工業 (株) |
| 動ひずみ計   | DS-6001 型         | "          |
| ダイヤルゲージ | KM-130            | テクロック      |
| 記録計     | MC-6002 型 マルチコーダー | 渡辺測器 (株)   |

#### 試験結果と考察

曲げ試験による各々の曲げ弾性率と試験材の厚さを表 1 に示す。なお、試験材 Ⅲ は疲労試験用に作製された FRP 積層板であり、今回の曲げ試験装置では精度に問題が有り試験材 Ⅲ の試験結果は他の試験結果の参考として用いる。

Table 1. Elastic modulus by the bending test and thickness of the test board. (Test board No. III is reference.)

| Test Board<br>No. | Elastic Modulus         |                    | Thickness |                    |
|-------------------|-------------------------|--------------------|-----------|--------------------|
|                   | Mean                    | Standard Deviation | Mean      | Standard Deviation |
| I-1               | 1291 kg/mm <sup>2</sup> | 90                 | 15.27 mm  | 0.28               |
| 2                 | 1233                    | 67                 | 15.49     | 0.39               |
| 3                 | 1280                    | 77                 | 15.22     | 0.29               |
| II-1              | 1198                    | 84                 | 7.42      | 0.26               |
| 2                 | 1089                    | 161                | 8.20      | 0.15               |
| 3                 | 982                     | 111                | 9.41      | 0.15               |
| III-1             | 886                     | 71                 | 5.36      | 0.30               |
| 2                 | 747                     | 74                 | 6.34      | 0.20               |
| 3                 | 778                     | 96                 | 6.34      | 0.26               |
| 4                 | 806                     | 80                 | 5.82      | 0.22               |

表 1 でわかる様に各々の曲げ弾性率のバラツキは大きい。この様に曲げ弾性率のバラツキが大きなことは実験装置、方法に多少の問題が含まれているとは言え、一般に発表されている資料のバラツキの範囲内であり、FRP 積層板の特性によるものと考ええる。

次に、試験材 I-1, I-2 の各 5 枚について曲げ弾性率測定後に荷重を 2000 kg まで段階的に加えてたわみを計測した。その結果を図 2, 3 に示す。さらに、試験材 II の各試験材についても荷重を 90 kg まで加えて荷重とたわみの関係を調べたが、図 2, 3 と同様に荷重とたわみの関係はほぼ直線となっている。

この荷重—たわみの計測中に試験材 I で荷重 1000 kg, 試験材 II で荷重 70 kg を加えたあたりでキシミ音が聞かれた。このキシミ音については FRP 積層板の基材の破壊や変形などにより生じたと考えられるが、図 2, 3 で示される様に荷重とたわみの関係には大きな変化はみられなかった。

積層方法による曲げ弾性率の変化については試験材 I では平均値で一応、積層条件の良い順に曲げ弾性率は高くなっているが、その差はわずかで各々の間の有意差は認められない。

試験材 II でも平均値では積層条件の良い順に曲げ弾性率は高くなっているがバラツキが大きく、各々の曲げ弾性率の差は試験材 II-1 と II-3 の間に危険率 95% で有意差が認められる程度である。

試験材 III では 2 次接着が 2 回の試験材 III-2, III-3 よりも 2 次接着が 4 回の試験材 III-4 の方が高い曲げ弾性率を示している。

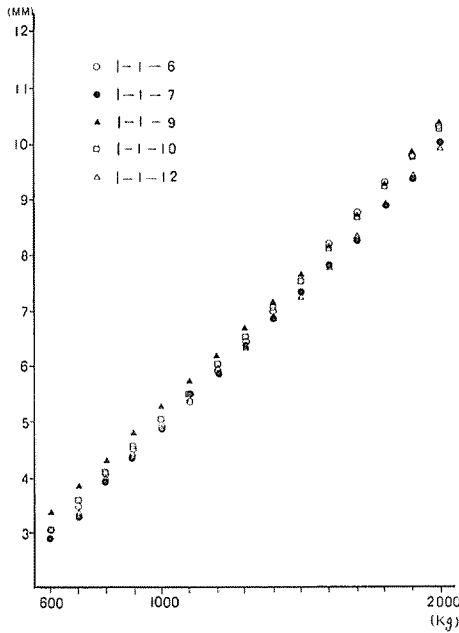


Fig. 2. Relation between bend and load. Test board No. I-1.

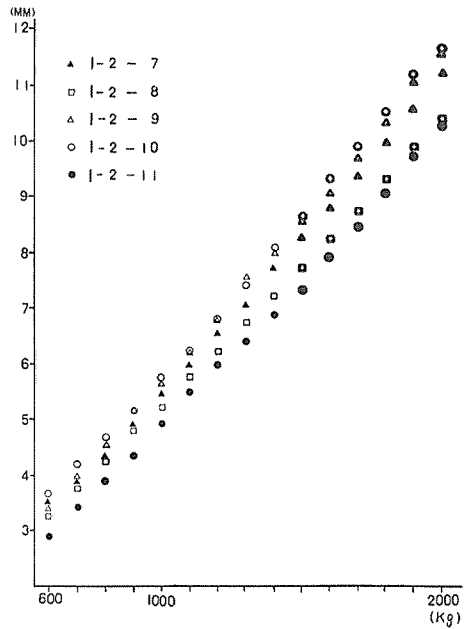


Fig. 3. Relation between bend and load. Test board No. I-2.

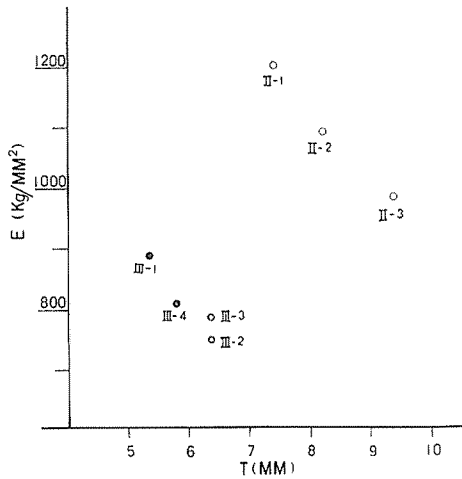


Fig. 4. Relation between elastic modulus and thickness.

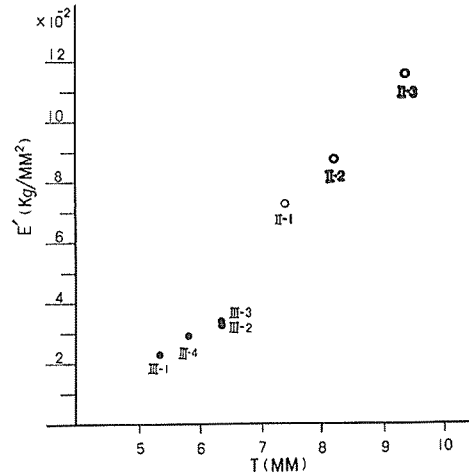


Fig. 5. Relation between stiffness ( $E'$ ) and thickness.

以上の様に、今回の曲げ試験では積層方法の違いによる曲げ弾性率の変化については確認できなかった。

次に、表 1 に示されている各試験材の厚さに注目すると、試験材 I, II, III 共に板厚が薄いほど曲げ弾性率が高くなっている。図 4 に試験材の板厚と曲げ弾性率の関係を示す。なお、試験材 I は板厚、

曲げ弾性率の差がわずかであり図4より除いている。

図4より、板厚と曲げ弾性率の関係は直線的に反比例しているのがわかる。これより、今回の曲げ試験による各々の曲げ弾性率の差は試験材の板厚の違いにより生じたと考えられる。

以下、曲げ試験における試験材の板厚の影響を考察する。曲げ試験における曲げ弾性率は

$$E = \frac{WL^3}{4Bt^3h} \quad (1)$$

ここで、 $E$  曲げ弾性率、 $W$  荷重、 $L$  支点長さ、 $B$  試験材の幅、 $t$  板厚、 $h$  たわみで求められる。(1)式では板厚の差は3乗で曲げ弾性率に影響する。すなわち、曲げ試験において(1)式の他の項が同一ならば板厚が薄いほど3乗に比例して高い曲げ弾性率となる。

今回の曲げ試験では同一の試験材においても板厚に大きなバラツキがあり、単に曲げ弾性率だけで板厚の影響を見ることは難しい。また、曲げ試験において均一な材質の試験材では(1)式に示される様に荷重とたわみの関係は板厚の3乗に反比例するが、FRP積層板の様な複合材では内部構成が複雑で荷重とたわみの関係は単に板厚の3乗に反比例するとは考えられない。

今、曲げ試験における試験材の板厚の影響を除くために(1)式より $t$ の項を除いた値で荷重とたわみの関係を求めてみる。さらに、(1)式の $L$ と定数4も各曲げ試験共に等しいので共に除き、(2)式をつくる。

$$E' = \frac{W}{Bh} \quad (2)$$

試験材Ⅱの $E'$ を表2に示す。また、 $E'$ と試験材の板厚の関係を図5に示す。ここで、 $E'$ が高いことは試験材自体の剛性が高いことを示す。

Table 2. Stiffness ( $E'$ ) of the test board No. II.

| Test Board<br>No. | Stiffness ( $E'$ )       |                       | Thickness |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|-----------|
|                   | Mean                     | Standard<br>Deviation |           |
| II-1              | 0.073 kg/mm <sup>2</sup> | 0.006                 | 7.42 mm   |
| 2                 | 0.088                    | 0.014                 | 8.20      |
| 3                 | 0.116                    | 0.018                 | 9.41      |

これらより、板厚の厚い試験材は薄い試験材に比べ同一荷重でのたわみは少ないが、曲げ弾性率としては $t^3$ でわるために低い値となることがわかる。さらに、表2に示される $E'$ の値は表1の曲げ弾性率に比べ各試験材間の差は明確になっている。

一般にFRP積層板の曲げ試験による曲げ弾性率の測定値は引張り試験による弾性率の測定値に比べバラツキが大きい。ここで、引張り試験における弾性率は

$$E = \frac{W}{Bt\delta} \quad (3)$$

ここで、 $E$  弾性率、 $W$  荷重、 $B$  試験材の幅、 $t$  板厚、 $\delta$  伸び率で求められる。(1)式と(3)式より、曲げ弾性率は板厚の3乗で影響されるのに比べ引張り試験の弾性率では板厚の影響は小さいことがわかる。

これより、引張り試験に比べ曲げ試験の測定値に大きなバラツキが生じることはFRP積層板の板厚の差やバラツキが大きく影響している様に考える。

次に、FRP積層板のガラス含有率の点から考察する。

現在、FRP 積層板の強度や物性測定の際としてガラス含有率が用いられており、一般にガラス含有率の高い FRP 積層板ほど高い曲げ弾性率や強度を示すと言われている<sup>2)-4)</sup>。

今回の曲げ試験では試験材のガラス含有率を測定してはいないが、ガラス基材構成が等しい時は試験材のガラス含有率は板厚に反比例する。すなわち、同一ガラス基材構成の FRP 積層板では薄い試験材ほどガラス含有率は高くなり、一般に言われている様に今回の曲げ試験でもガラス含有率の高い試験材（薄い試験材）ほど高い曲げ弾性率を示している。しかし、表 2、図 5 より FRP 積層板自体としてはガラス含有率の低い試験材（厚い試験材）ほど高い剛性を示す。

以上より、同一ガラス基材構成の FRP 積層板などでガラス含有率により弾性率等を比較することは FRP 積層板の強度などに間違った概念を生じさせる恐れがある。また、今回の曲げ試験のように FRP 積層板の板厚に大きな差やバラツキが有る現在、これまで行なわれてきたガラス含有率による強度等の評価方法について試験材の板厚の点から再考が必要であろう。

## 結 言

今回の試験では試験材Ⅲの様に精度の問題や試験方法、手順、試験環境などに問題を含んでおり、今回の試験結果より FRP 積層板の物性等について述べることは危険と思われる。さらに、今回使用した試験材は通常に使用される試験片に比べ大きく梁の理論による曲げ弾性率が適用できるかなどの疑問もある。

しかし、今回の試験結果は多くの問題を含んでいるとは言え、FRP 積層板の研究、評価方法に対し重要な問題提起となると考えて、あえて発表して FRP 積層板の板厚のバラツキ、ガラス含有率等の問題について一考される様に願うものである。

以上の様に問題を含んだ少いデータであるが、今回の試験をまとめると次のようになる。

- 1) 曲げ試験では FRP 積層板の積層方法、技術、環境などの影響を測定することは困難である。
- 2) 曲げ弾性率の大きなバラツキは試験材の板厚の影響が大きい。
- 3) 同一ガラス基材構成の FRP 積層板では厚い板（ガラス含有率の低い板）は薄い板（ガラス含有率の高い板）に比べ低い曲げ弾性率を示すが、板自体としては高い剛性率を示す

次に今後の問題として

- 1) FRP 積層板の板厚のバラツキの解明。
- 2) 今回の様に FRP 積層板の板厚に大きなバラツキがある時の各種試験の試験材（片）厚さの決定方法や弾性率等の再考。
- 3) これまでに発表されているガラス含有率による弾性率評価の再考。
- 4) 今回の曲げ試験で生じた FRP 積層板のキシミ音の解明。このキシミ音は FRP 積層板内部の基材破壊などの変化により生じたと考えられ、FRP 積層板の破壊機構の解析などに重要な手がかりになると考える。

などが挙げられる。

いずれにしても、FRP 積層板の物性研究に関しては各種試験の標準化が必要である。しかし、FRP 積層板という複雑な内部構成を有する複合材の物性解析は非常に困難であり、研究自体も遅れている現状では多くの基礎的研究の蓄積を待たねばならない。

## 文 献

- 1) 竹鼻三雄 (1979). FRP 船舶に関する最近の研究の概観. FRP 漁船 64, 16-21.
- 2) 丹羽誠一 (1977~1980). FRP 船講座. 船舶 553-587.
- 3) 村山 宏 (1977). FRP 成形加工技術. 322 P. 工業調査会, 東京.
- 4) 強化プラスチック技術協会編 (1967). 強化プラスチックハンドブック. 463 P. 日刊工業新聞社, 東京.